

Bionik und Bionische Bewegungssysteme:

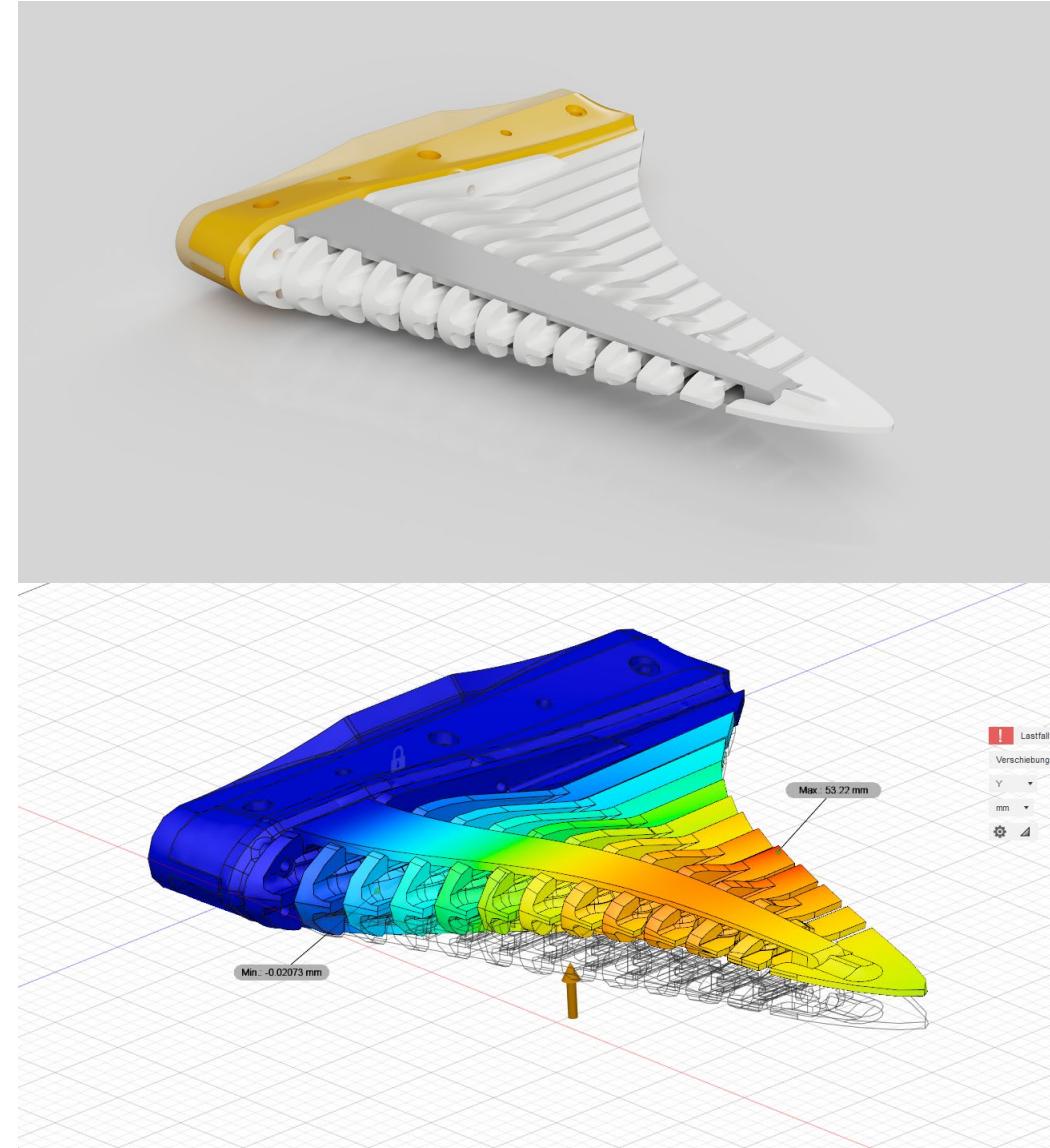
Optimierung bioinspirierter Strukturen mithilfe der
Finite Elemente Methode und Evolutionsstrategien.

24.05.2022

Sebastian Schanz

Vorstellung

- 8. Semester, Humanoide Robotik, Bachelor-Student
- Faszination für Bionik Beginn des Studiums
- Projekt zur Nachbildung eines Mantarochenflügels führte mich zum Thema Fin Ray
- Seitdem Interesse für die Funktionsmorphologie
- 3.-6. Semester, Werkstudent im Bereich bionischer Optimierung bei Münchener Firma für Hebetechnik
- Bachelorarbeit: Vertiefung d. Analyse von biologischen Materialien für technische Anwendungen



Inhalt

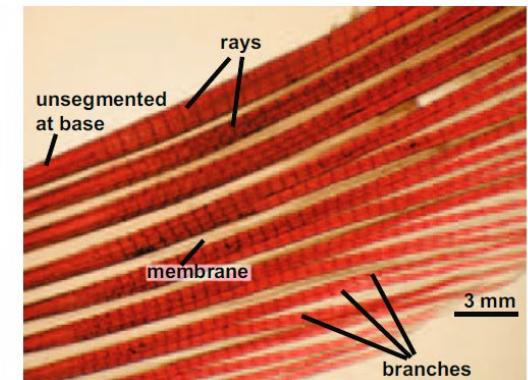
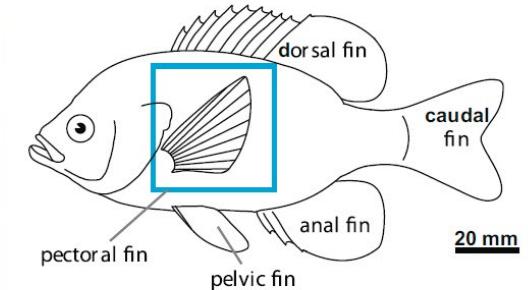
1. Entdeckung d. Fin Ray Effekt
2. Technologietransfer
3. Biologisches Vorbild
4. Vor- und Nachteile softer Greifer
5. Crashkurs Evolutionsstrategie
6. Optimierungsmethode mithilfe von FEA und ES
 1. Parametrische Modellierung
 2. Finite Elemente Analyse
 3. Fitnessdefinition
 4. Evolutionsstrategie
 5. Pareto-Optimierung
7. Fazit / Zusatzinfo

Entdeckung d. Fin Ray Effekt

Entdeckt im Jahre 1997 von Leif Kniese and Rudi Bannasch.

Beobachtung:

Drückt man gegen eine Fisch-Flosse, dann biegt sich die Flosse nicht in Richtung der Kraft, sondern in die entgegengesetzte Richtung.



[1] Discrete Cosserat Approach for Closed-Chain Soft Robots: Application to the Fin-Ray Finger.
IEEE Trans. Rob., 37(6): 2083–2098, May 2021. doi: 10.1109/TRO.2021.3075643.

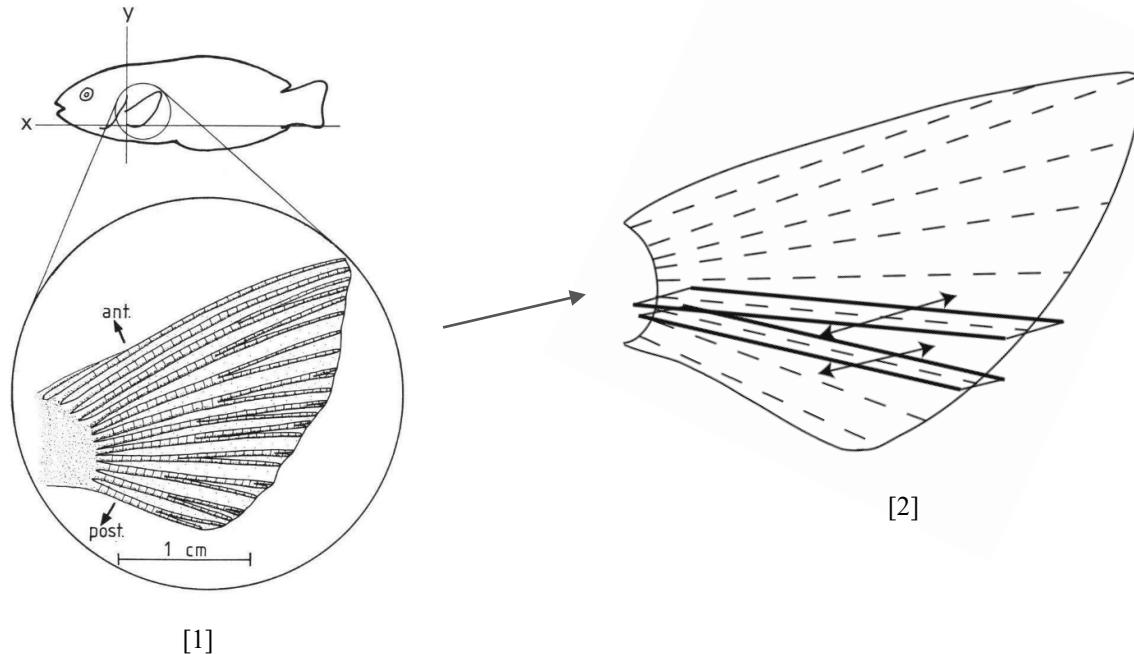
[2] <http://www.bionikvitrine.de/tier-pflanze-5.html>, accessed on 09.12.2021

[3] Studies on mechanisms of joint and bone formation in the skeleton rays of fish fins.
Dev. Biol., 5:1–34, Aug 1962. ISSN 0012-1606. doi: 10.1016/0012-1606(62)90002-7

[2] lower left, [3] rest

Technologietransfer - Soft Robotic Gripper

Sie analysierten die Fischanatomie im Labor der *EvoLogics GmbH* (Berlin) und entwickelten die adaptive Geometrie namens Fin Ray Greifer. [1]

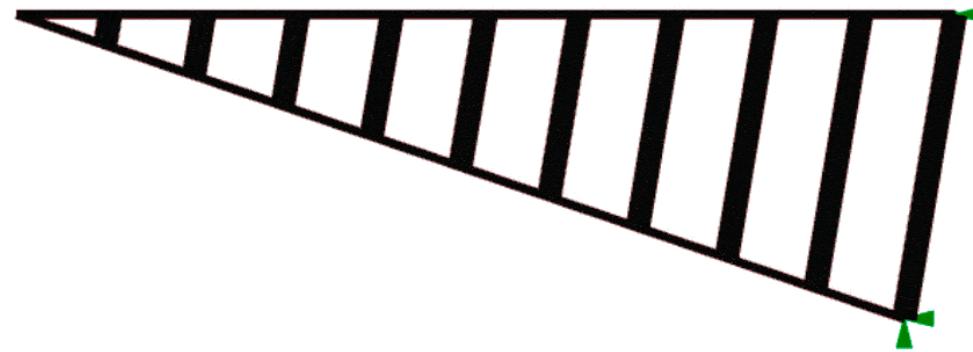


[1] Pectoral Fin Kinematics of Coris Formosa (Teleostei, Labridae). Neth.
J. Zool., 33(4):515–531, Jan 1982. ISSN 1568-542X. doi: 10.1163/002829683X00237

[2] Studies on mechanisms of joint and bone formation in the skeleton rays of fish fins.
Dev. Biol., 5:1–34, Aug 1962. ISSN 0012-1606. doi: 10.1016/0012-1606(62)90002-7

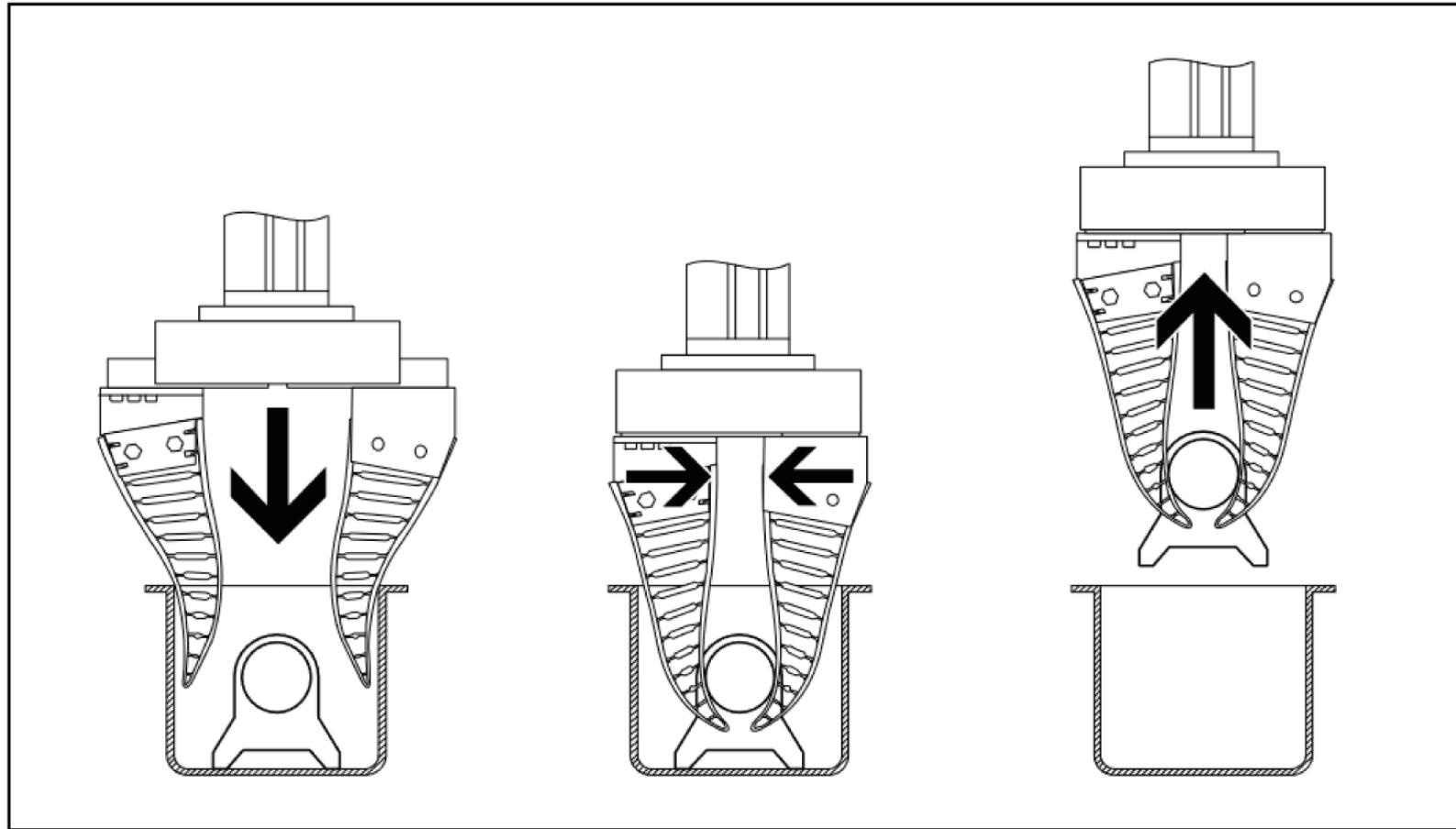
[3] https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/DHAS_EN.PDF,
accessed on 07.12.2021

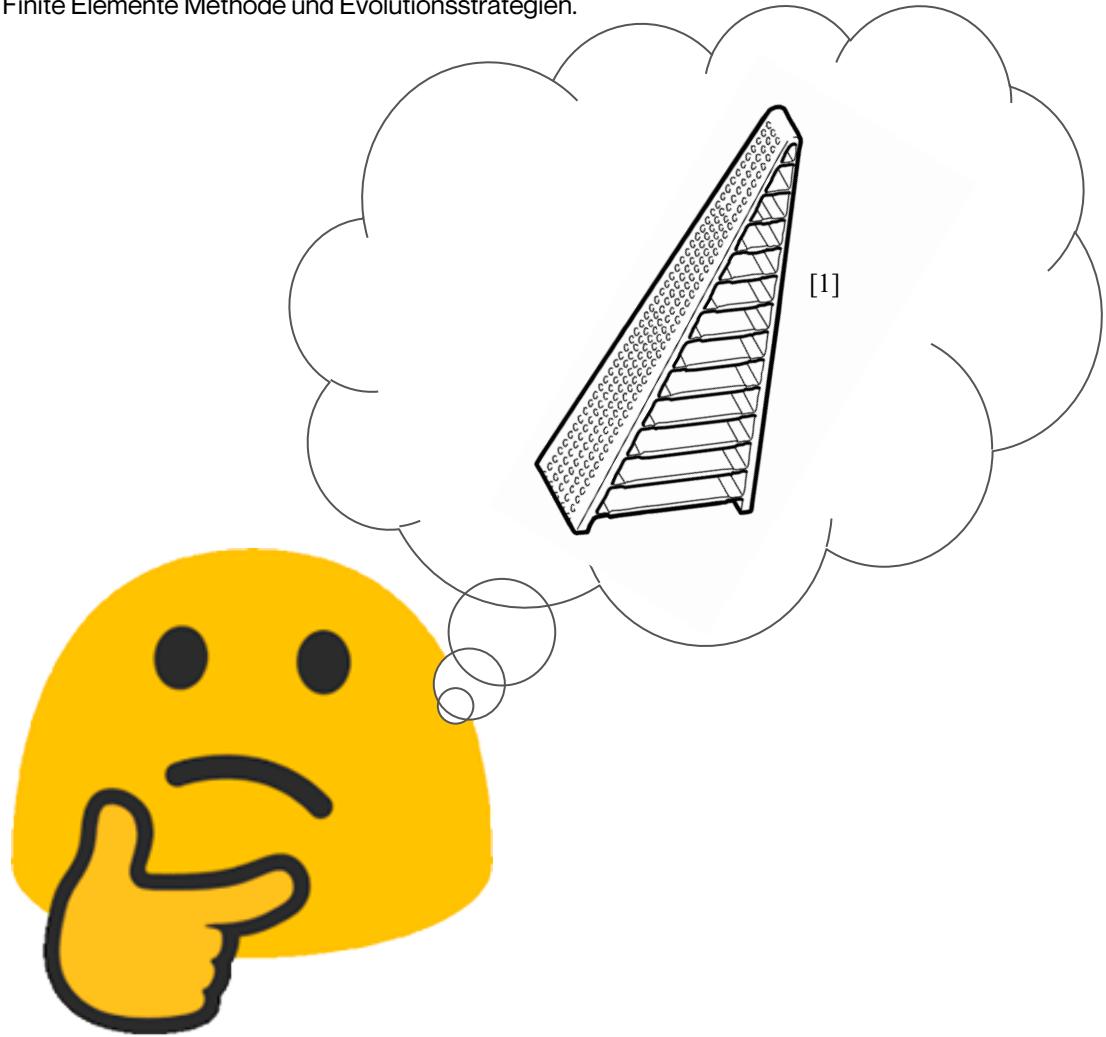
Technologietransfer - Soft Robotic Gripper



Fin Ray Effekt

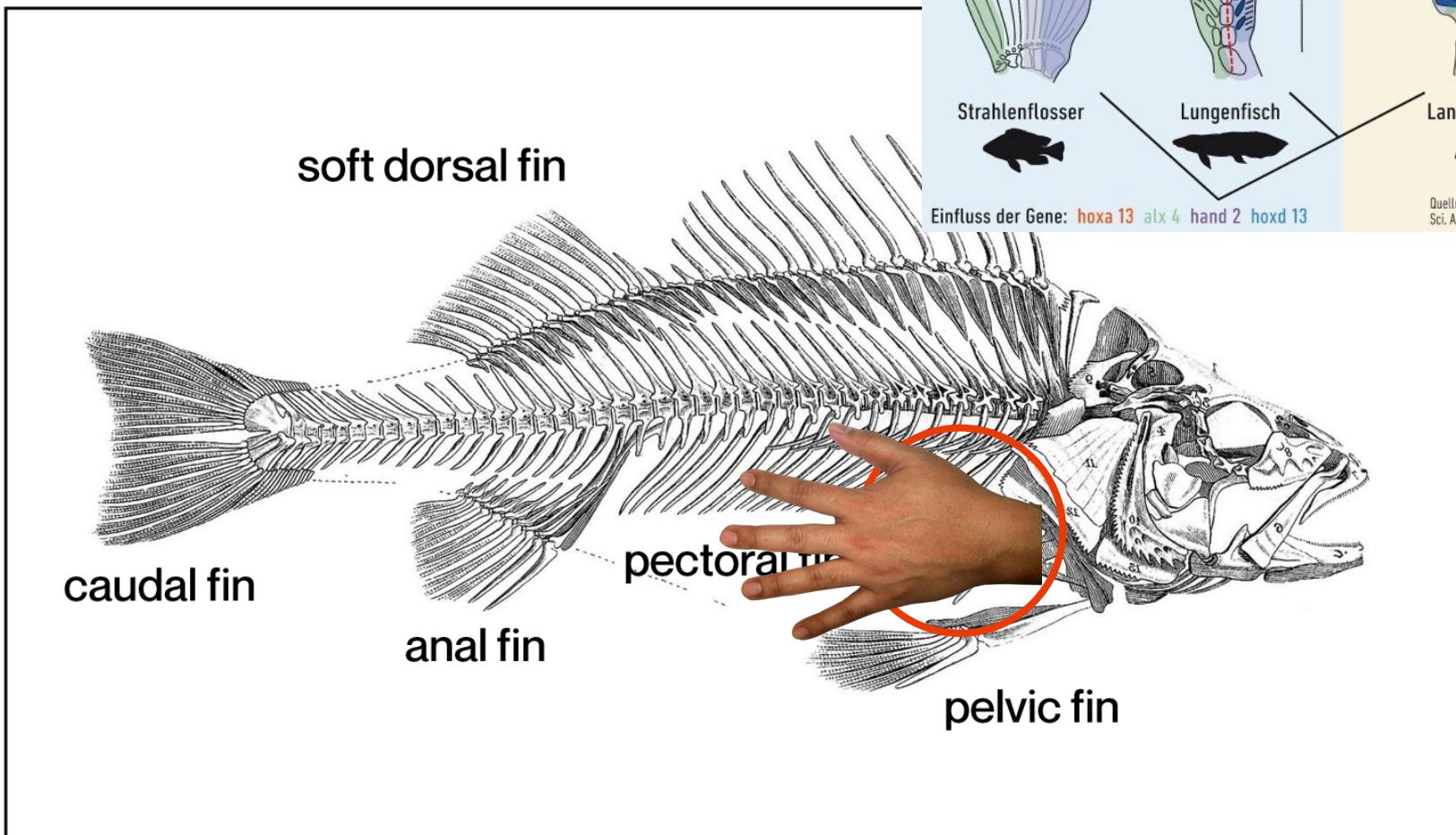
Technologietransfer - Soft Robotic Gripper



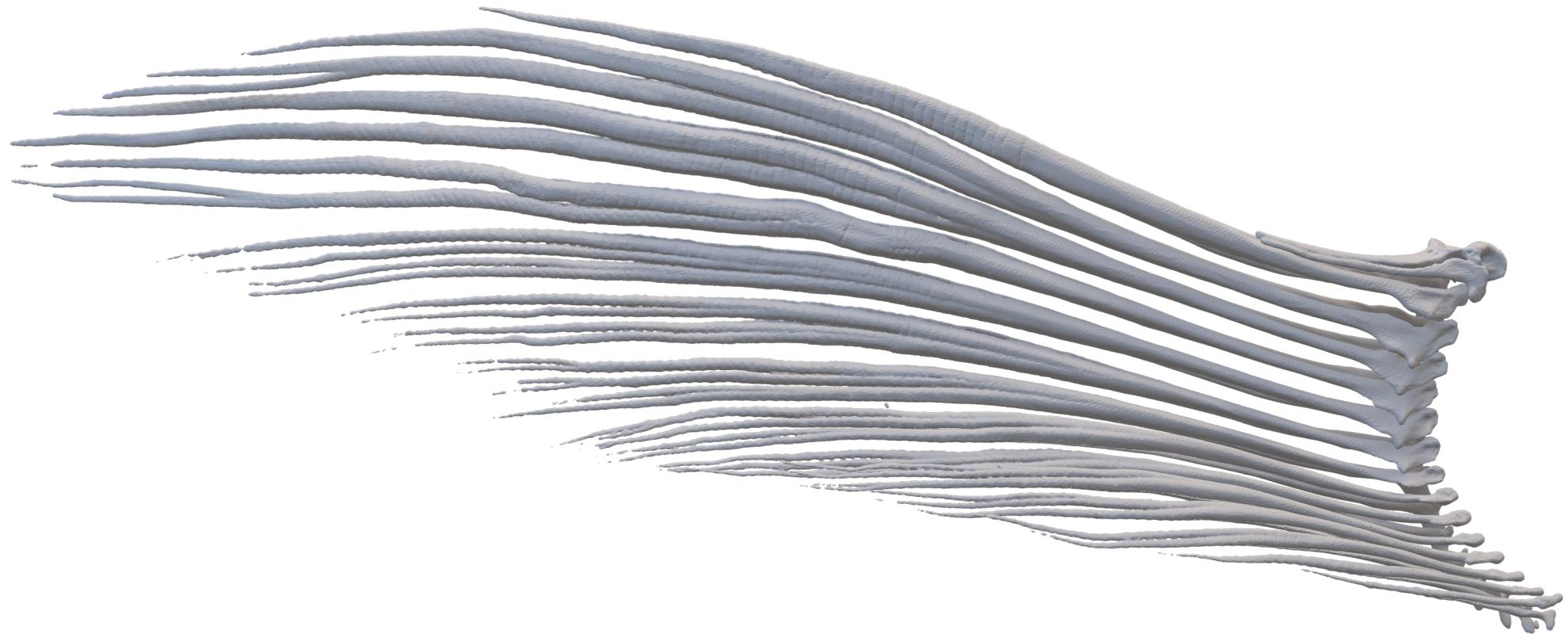


Wo genau finde ich die Kinematik
in der Fischflosse?

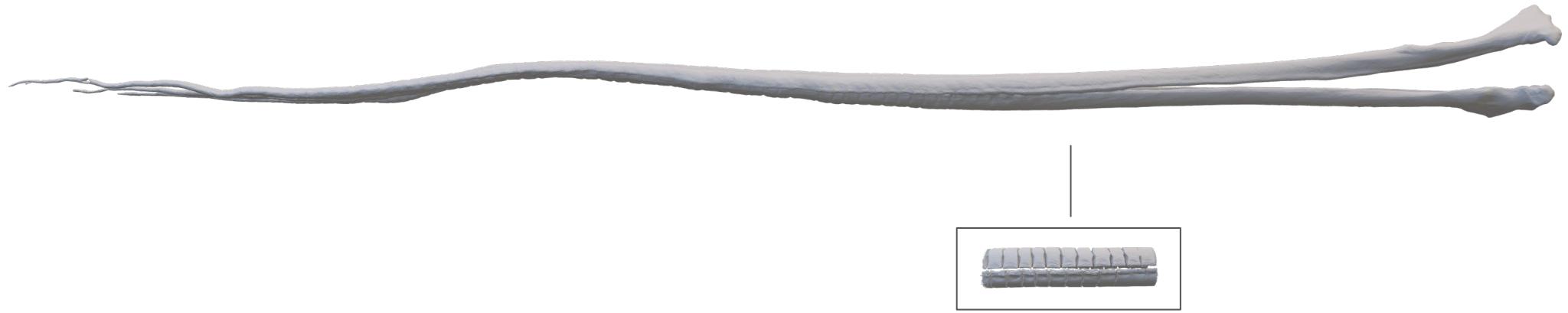
Biologisches Vorbild - Fischflossen



Biologisches Vorbild – CT Scan einer Nilbarschflosse



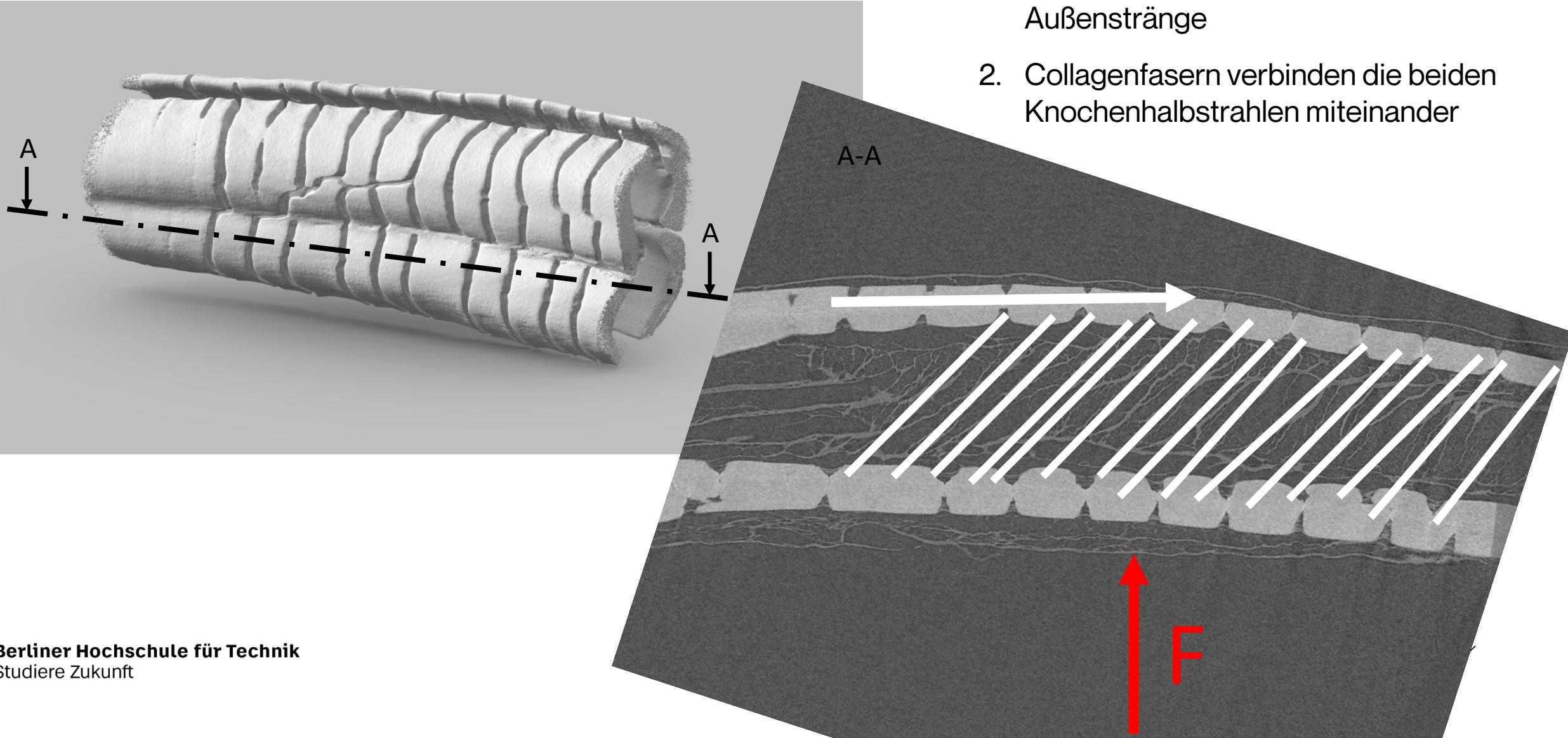
Biologisches Vorbild – CT Scan einer Nilbarschflosse

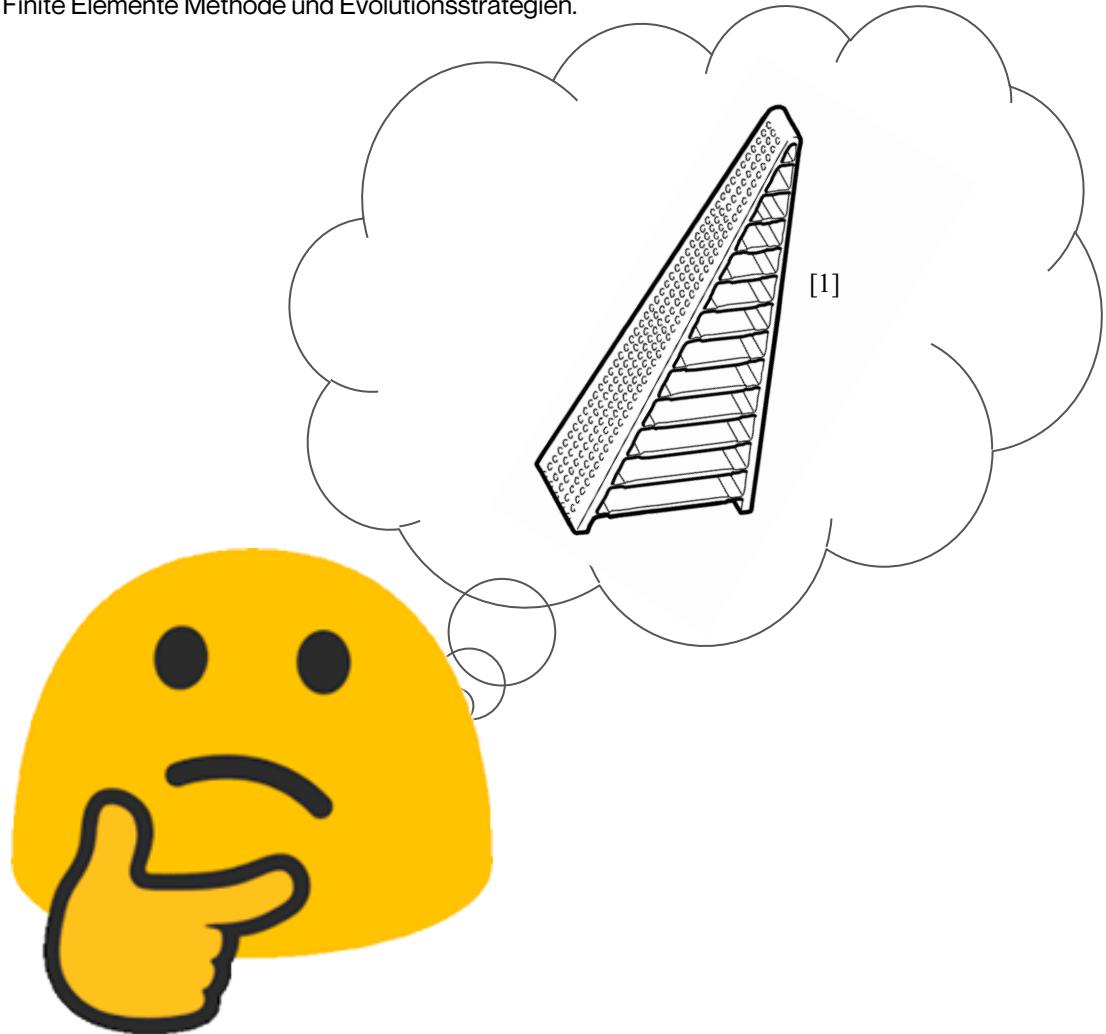


Biologisches Vorbild – CT Scan einer Nilbarschflosse



Biologisches Vorbild - Flossenstrahlsegment





Warum ist das cool?

Vor- und Nachteile softer Greifer

Vorteile:

1. Intelligente Formanpassung ganz ohne Regelung und mit kleinem Energieaufwand
2. Robustes Greifen variable Geometrien
3. Sanftes Greifen, weil Kontaktfläche größer ist
4. Einfache Aktuierung
5. Kostengünstiges Design

Nachteile:

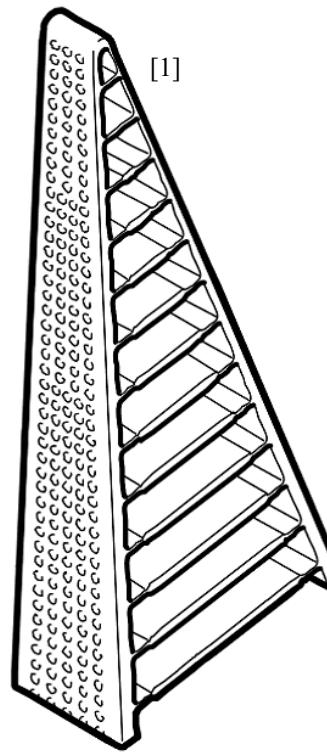
1. Will niemand modellieren



[1]

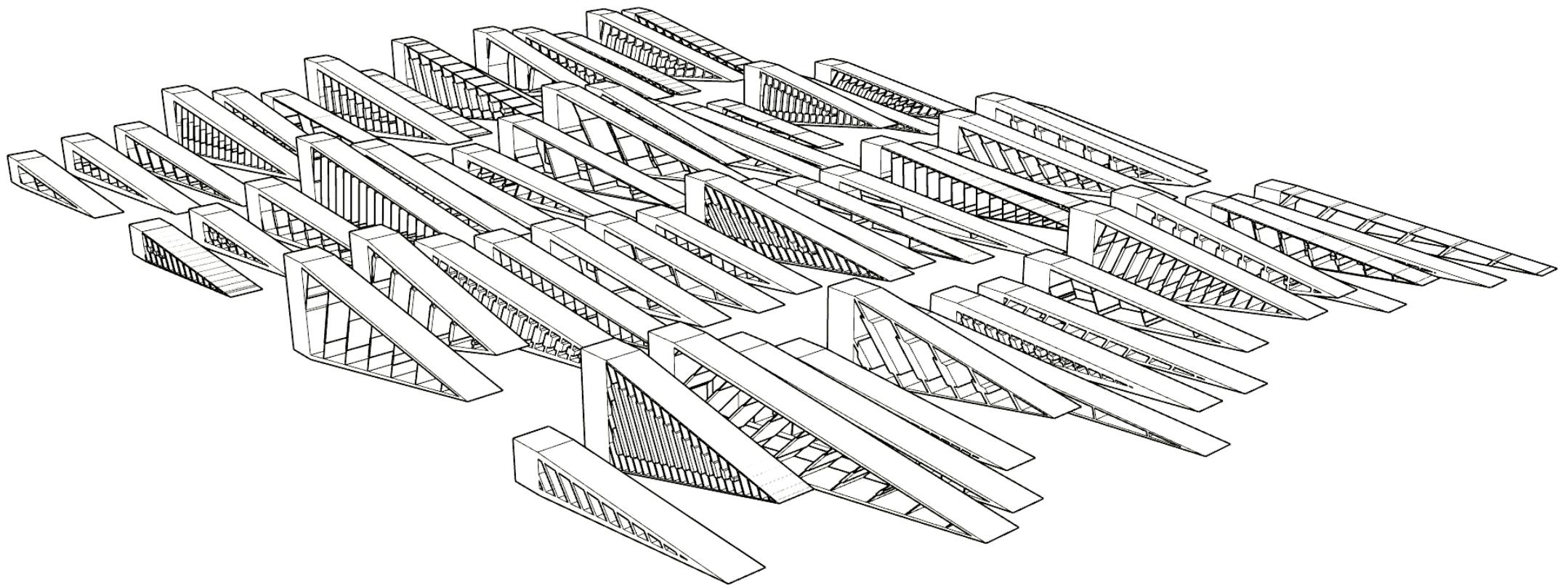


Aber wenn man Dinge heben möchte ...



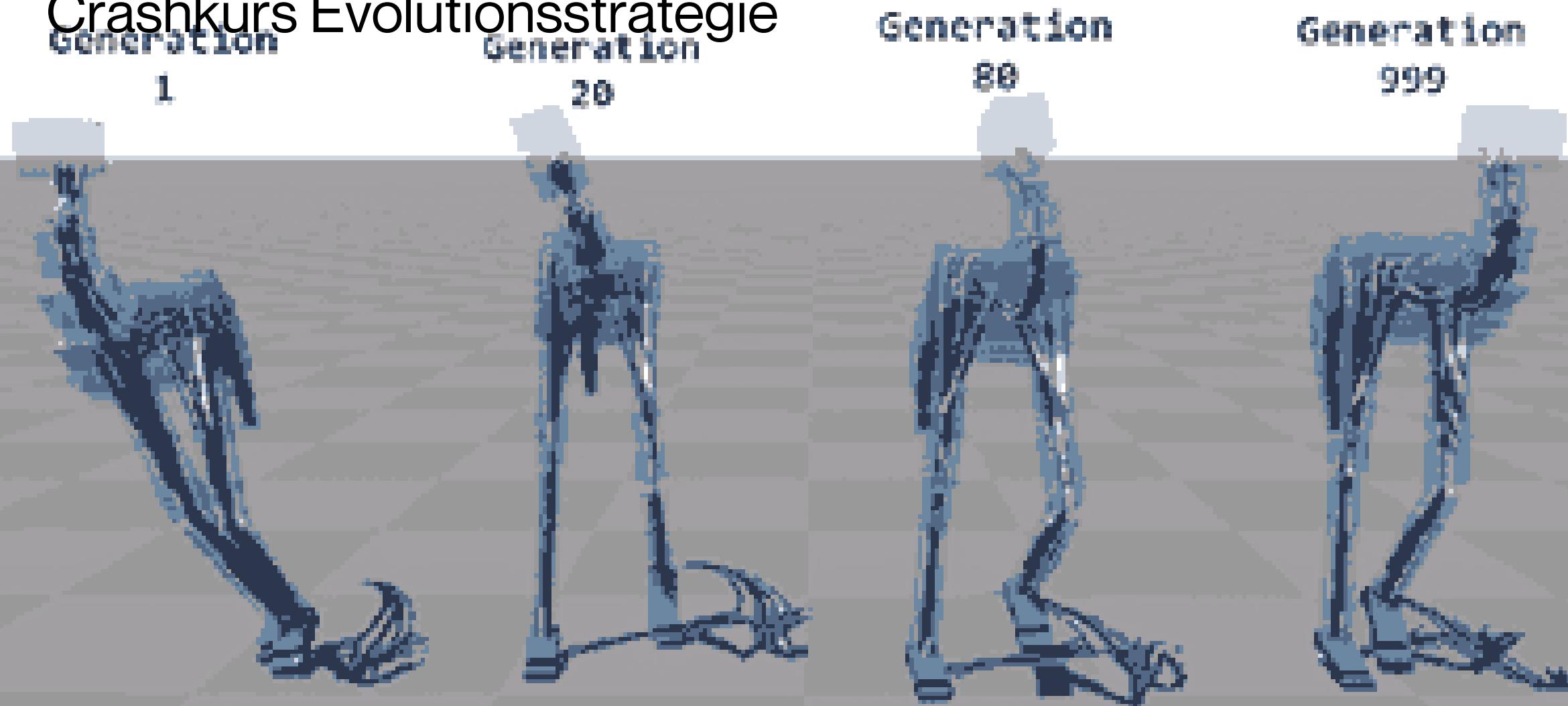
... ist das dann wirklich ein optimales Design?

[1] https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/DHAS_EN.PDF

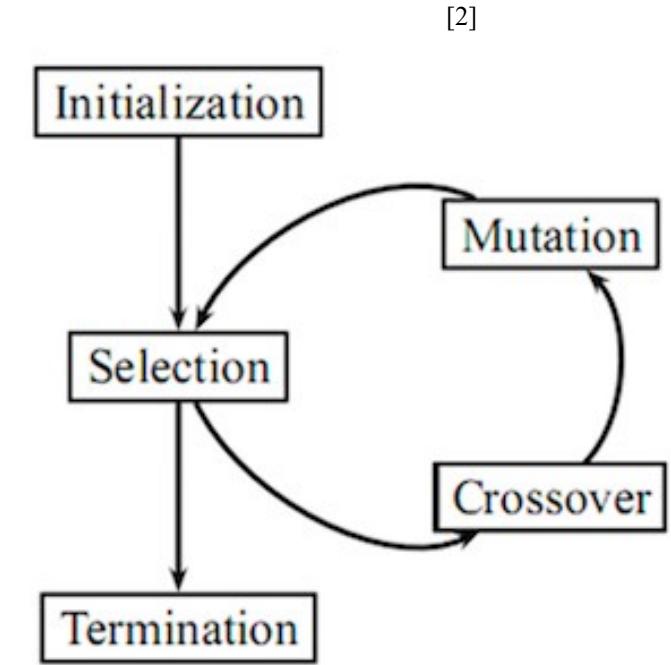
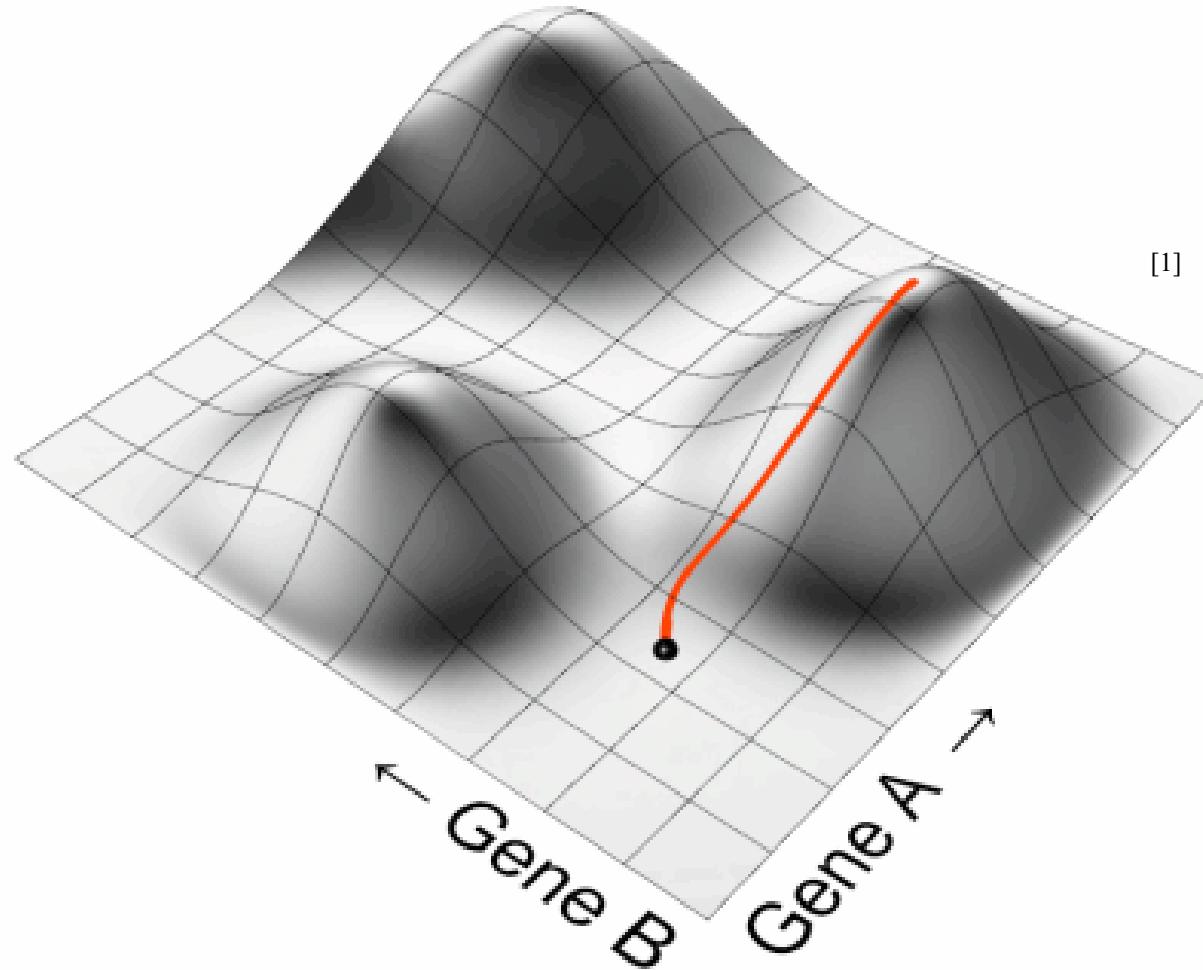


... oder wären andere Designs leistungsfähiger?

Crashkurs Evolutionsstrategie



Crashkurs Evolutionsstrategie

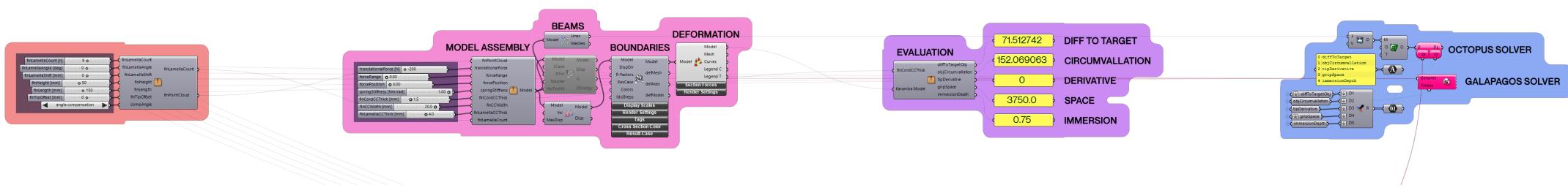


[1] <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/>

[2] <https://towardsdatascience.com/introduction-to-evolutionary-algorithms-a8594b484ac>

Optimierungsmethode mithilfe von FEA and ES

1. Parametrisches Modell
2. Finite Element Analyse (FEA)
3. Fitnessdefinition
4. Evolutionsstrategie (ES)



Welches Aussehen kann ein Individuum annehmen?

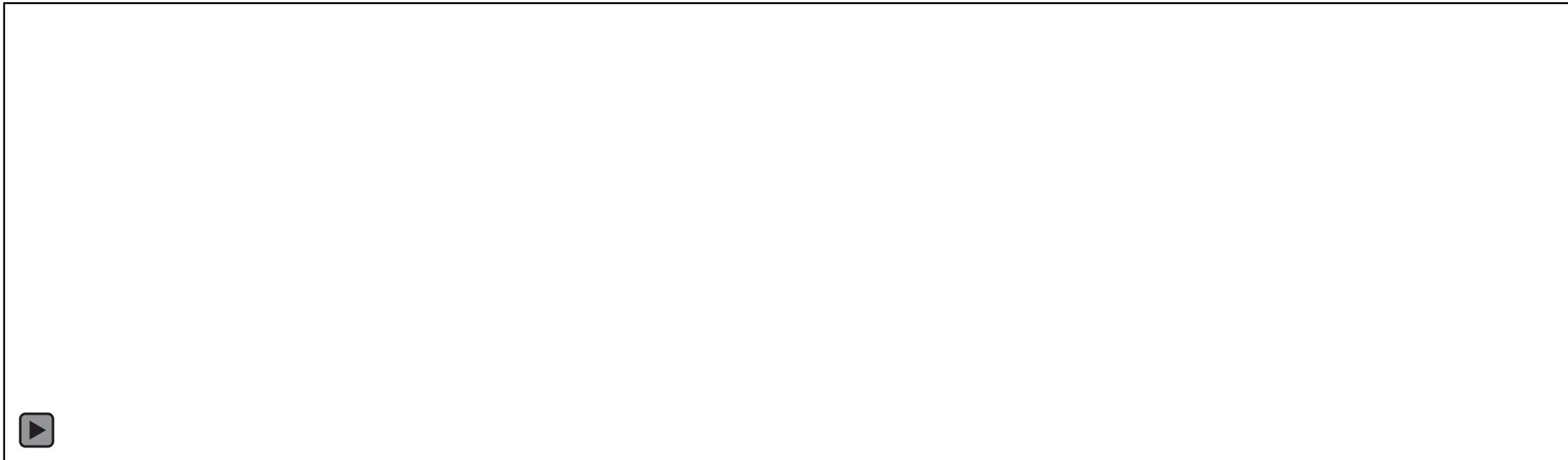
Welchen Randbedingungen hat der Lastfall?

Wie performen verschiedene Individuen im Vergleich?

Konvergenz zu optimalem Individuum

Parametrische Modellierung (1/4)

Erfassen phänotypischer Variablen:



Welches Aussehen kann die Struktur annehmen?



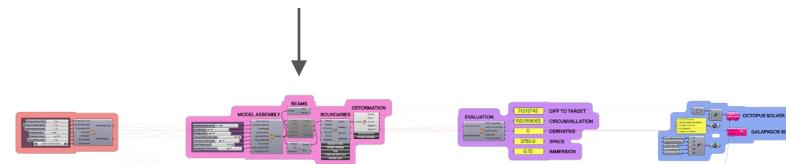
Finite Elemente Analyse (FEA) (2/4)

Modellierung des Lastfalls:

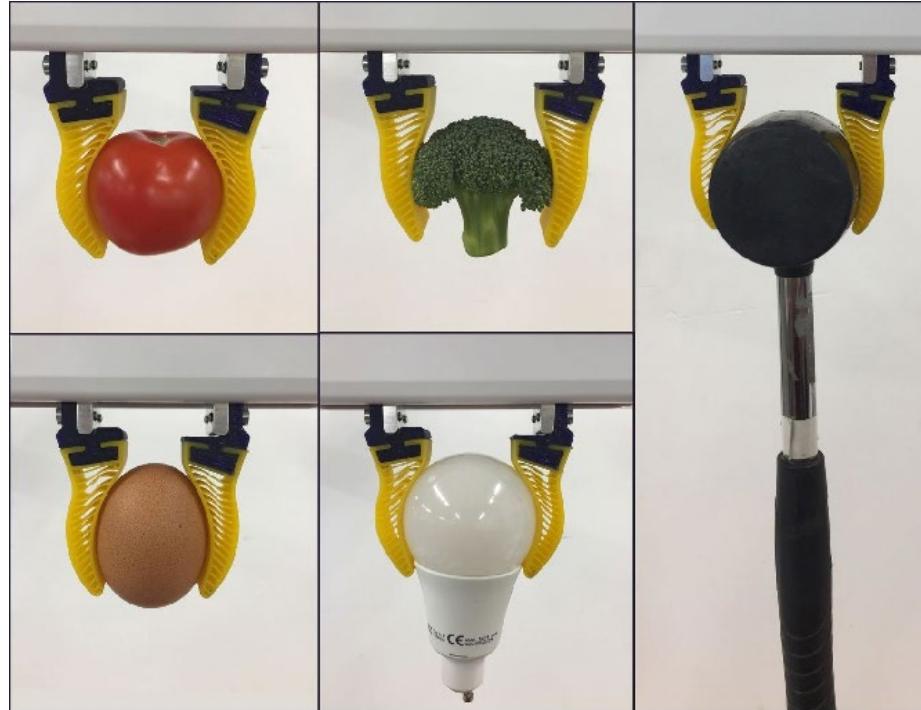


Welche Lasten greifen an der Struktur an?

Werden Lasten gehoben, dann zusätzlich: Schwerkraft in x -> Richtung

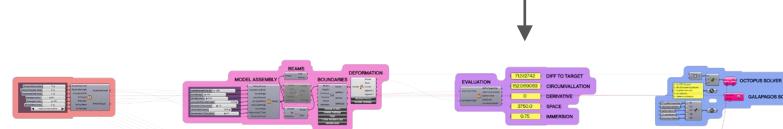


Fitnessdefinition (3/4)



Wie misst man die Leistung von Greifern?

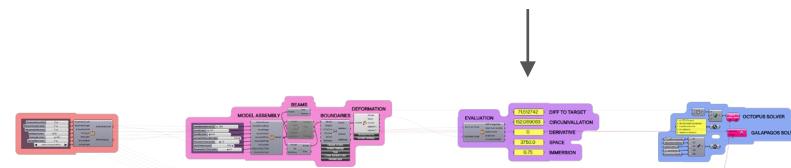
[4] Characterising 3D-printed Soft Fin Ray Robotic Fingers with Layer Jamming Capability for Delicate Grasping.
In 2019 2nd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft). doi: 10.1109/ROBOSOFT.2019.8722715



Fitnessdefinition (3/4)

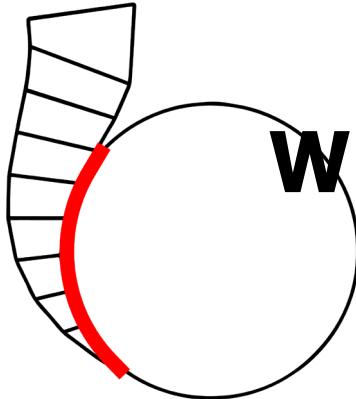


Wie definiert man Fitness?



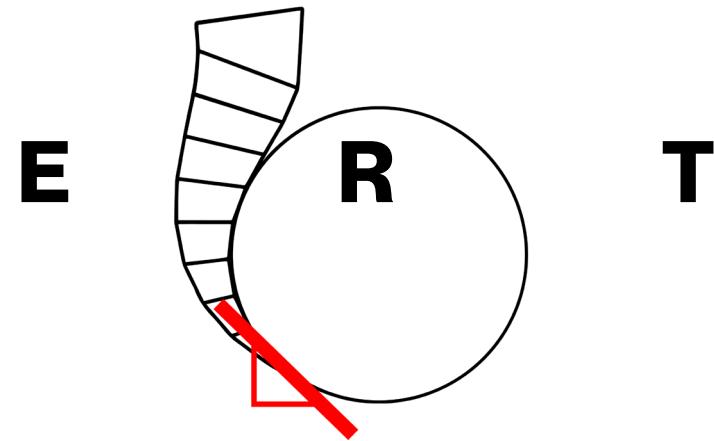
Fitnessdefinition (3/4) – Kriterien

1. Kontaktfläche



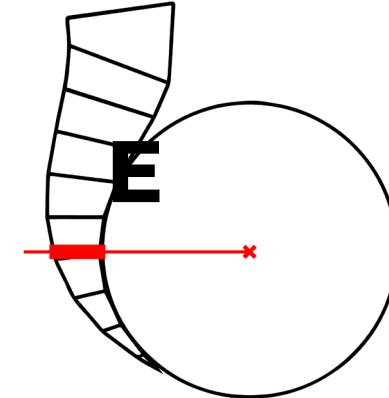
Große Kontaktfläche für
gute Objekthaftung.

2. Spitzensteigung

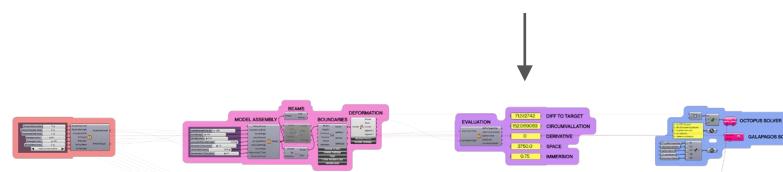


Große Spitzensteigung als Indikator
für gute Objektumschließung.

3. Greiferabmessung



Kleine Greiferabmessungen, um gut
in Lücken zu kommen.



Fitnessdefinition (3/4) – Formulierung einer Fitnessfunktion

1. Kontaktfläche

+ a

2. Spitzensteigung

+ b

3. Greiferabmessung

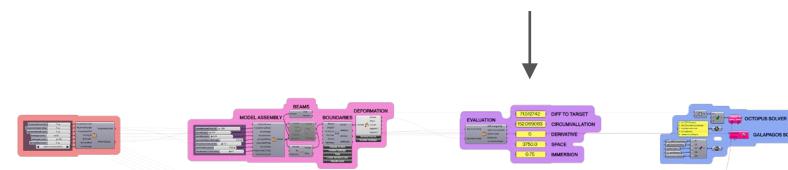
- c

= *Fitness*

Große Kontaktfläche für
gute Objekthaftung.

Große Spitzensteigung als Indikator
für gute Objektumschließung.

Kleine Greiferabmessungen, um gut
in Lücken zu kommen.



Fitnessdefinition (3/4) – Formulierung einer Fitnessfunktion

1. Kontaktfläche

+1450 mm²

2. Spitzensteigung

+25

3. Greiferabmessung

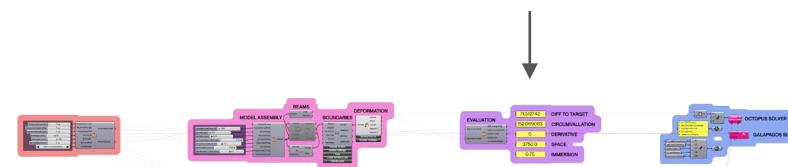
-41 mm

= *Fitness*

Große Kontaktfläche für
gute Objekthaftung.

Große Spitzensteigung als Indikator
für gute Objektumschließung.

Kleine Greiferabmessungen, um gut
in Lücken zu kommen.



Fitnessdefinition (3/4) – Normierung

1. Kontaktfläche

+1450 mm²
/ max

2. Spitzensteigung

+25
/ max

3. Greiferabmessung

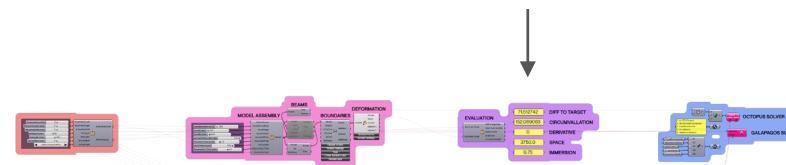
-41 mm
/ max

= *Fitness*

Große Kontaktfläche für
gute Objekthaftung.

Große Spitzensteigung als Indikator
für gute Objektumschließung.

Kleine Greiferabmessungen, um gut
in Lücken zu kommen.



Fitnessdefinition (3/4) – Gewichtung

1. Kontaktfläche

$$0.3 * +1450 \text{ mm}^2 / \text{max}$$

2. Spitzensteigung

$$0.6 * +25 / \text{max}$$

3. Greiferabmessung

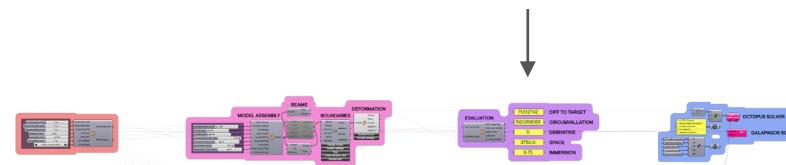
$$0.1 * -41 \text{ mm} / \text{max}$$

= Fitness

Große Kontaktfläche für gute Objekthaftung.

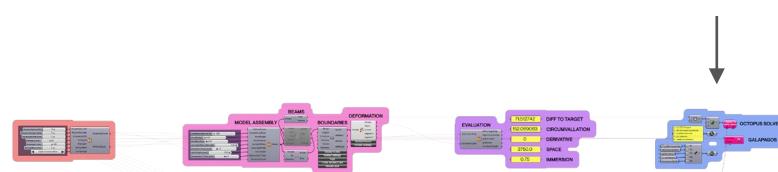
Große Spitzensteigung als Indikator für gute Objektumschließung.

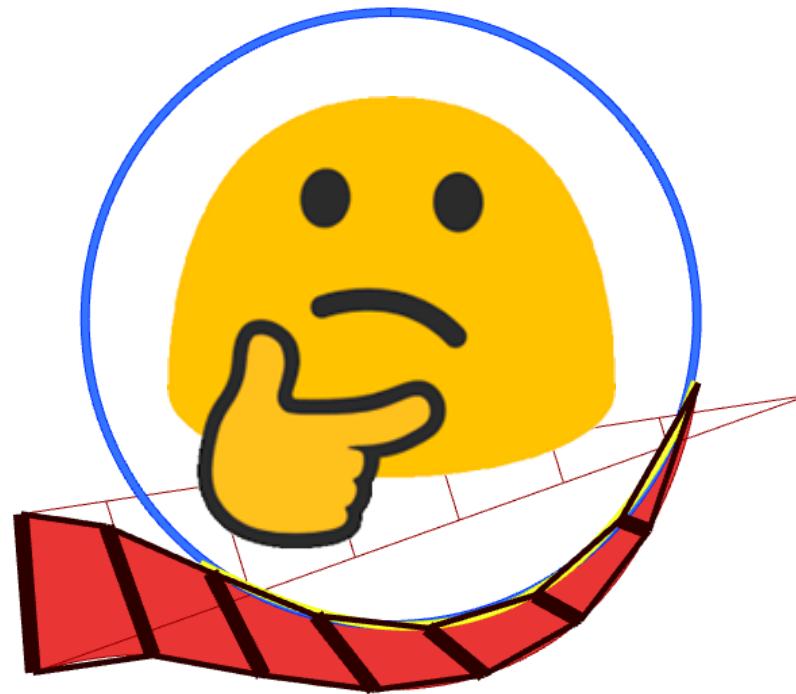
Kleine Greiferabmessungen, um gut in Lücken zu kommen.



Evolutionsstrategie (ES) (4/4)

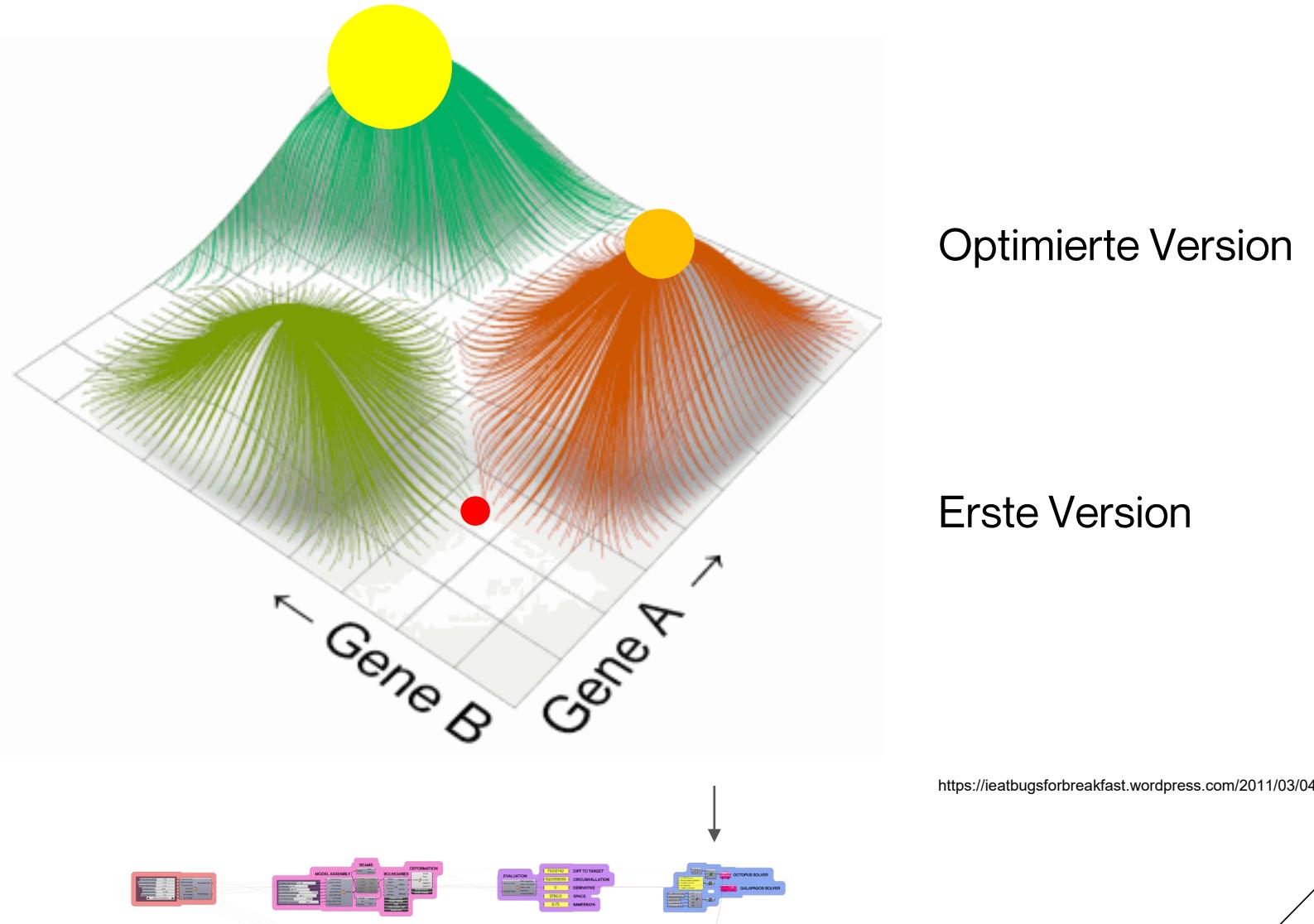
Optimierung durch Evolutionsstrategie:



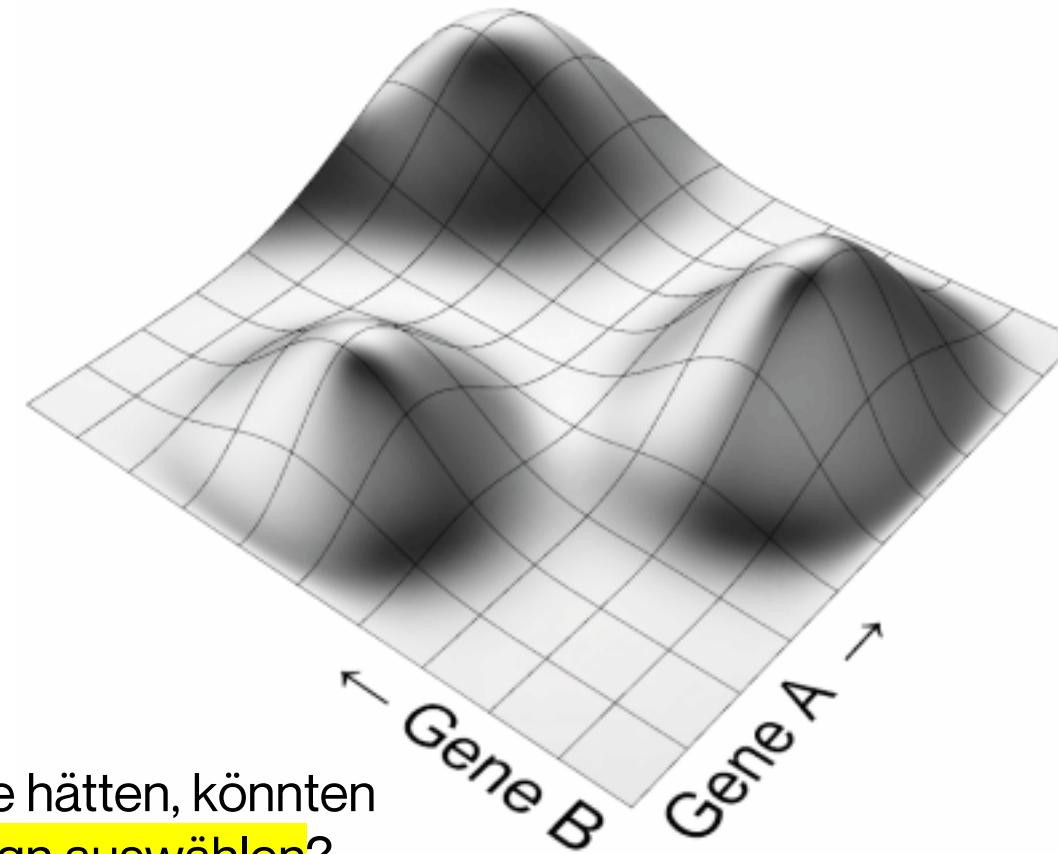


... aber ist das jetzt wirklich das Optimum?

Evolutionsstrategie (ES) (4/4) – Lokales vs. globales Optimum



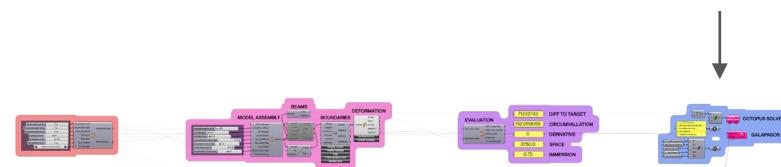
Evolutionsstrategie (ES) (4/4) – Lokales vs. globales Optimum



Idee:

Wenn wir so eine Fitnesskarte hätten, könnten
wir dann nicht das **beste Design auswählen?**

<https://eatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/>



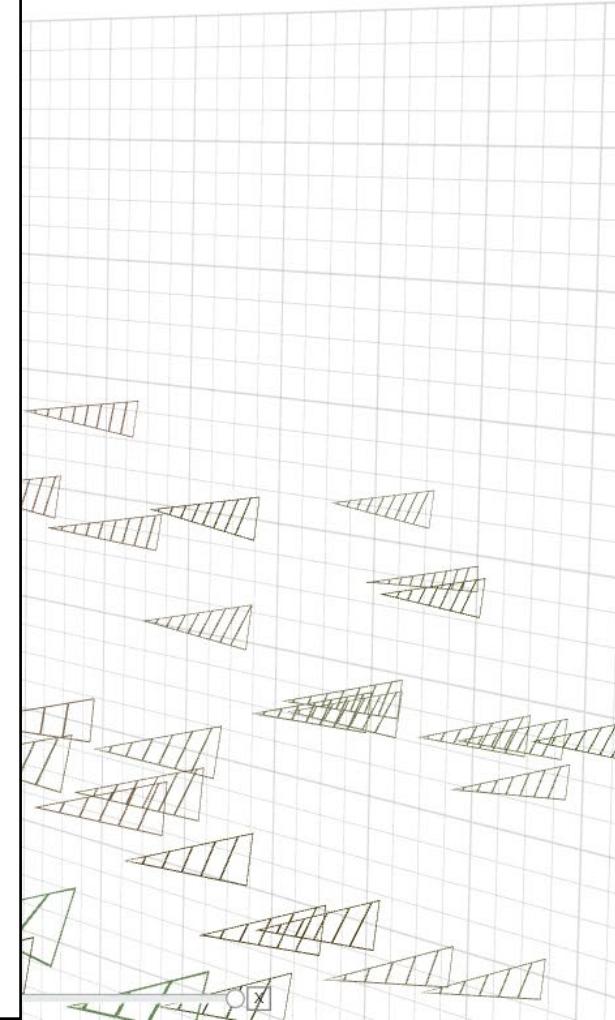
Pareto-Optimierung

Vorteile der Pareto-Optimierung

1. Erleichtert Suche nach Optimalen
2. Übersicht möglicher Ergebnisse
3. Gutes Verfahren bei mehreren Zielfunktionen

Nachteile

1. Zeitaufwändige Methoden
komplexere FEM-Methoden
2. Nicht für jedes Problem geeignet



Fazit

- Evolutionsstrategie kann praktisch mit einfachen Mitteln implementiert werden
- Schlüssel ist die Parametrisierung und die Definition von Fitness
- Kinematische Probleme lassen sich damit effizient lösen
- Biologische Vorbilder geben uns super Ideen.
Für den Technologietransfer ist aber häufig noch die Optimierung erforderlich

Zusatzinformationen

Für mehr Infos zur künstlichen Evolution:

<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/>

<https://towardsdatascience.com/introduction-to-evolutionary-algorithms-a8594b484ac>

3D Modelle der Pectoralflosse:

<https://sketchfab.com/sebastianschanz/models>

T H A N K Y O U

Q & A